

19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

12 Patentschrift  
10 DE 196 36 909 C 1

51 Int. Cl. 6:  
H 01 L 41/22  
H 01 L 41/08

21 Aktenzeichen: 196 36 909.6-35  
22 Anmeldetag: 11. 9. 96  
43 Offenlegungstag: —  
46 Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 26. 3. 98

DE 196 36 909 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

73 Patentinhaber:  
Kremer, Friedrich, Prof.Dr., 04416 Markkleeberg, DE

74 Vertreter:  
H. Weickmann und Kollegen, 81679 München

72 Erfinder:  
gleich Patentinhaber

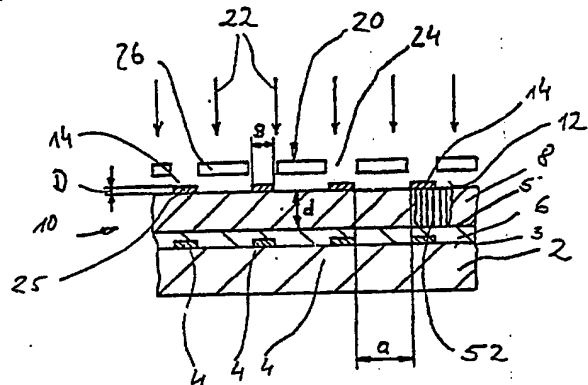
56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit  
in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 39 28 952 A1  
US 53 59 253  
US 48 75 378

DE-Z.: Makromol.Chem., Rapid Commun., 11, 1990,  
S. 593-598;

54 Elektromechanischer und/oder mechanoelektrischer Umsetzer

57 Es wird ein Verfahren zur Herstellung eines vernetzten piezoelektrischen Elements (10) vorgeschlagen, umfassend die Schritte: Aufbringen von Elektroden (4) auf eine Oberseite (8) eines Trägers (2), Aufbringen einer Schicht (8) aus vernetzbarem ferroelektrischem Flüssigkristall-Material auf die mit den Elektroden (4) versehene Oberseite (3) des Trägers (8), Anlegen eines elektrischen Feldes (16, 18) zumindest an Teilbereiche (25) der Schicht (8) zur Orientierung des Flüssigkristall-Materials in diesen Teilbereichen (25), und Vernetzen des Flüssigkristallmaterials, zumindest der Teilbereiche (25) der Schicht.



DE 196 36 909 C 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen elektromechanischen und/oder mechanoelektrischen Umsetzer, umfassend ein piezoelektrisches Element mit einem Träger, auf der Oberseite des Trägers auf gebrachten Elektroden und einer auf die mit den Elektroden versehene Oberseite des Trägers aufgebrachten Schicht aus ferroelektrischem Flüssigkristall-Material, welches von einem orientierten Polymer oder einem zumindest in Teilbereichen orientierten und vernetzten Elastomer gebildet ist, sowie ferner umfassend ein über der Oberseite der Schicht aus Flüssigkristall-Material des piezoelektrischen Elements angeordnetes, relativ zum piezoelektrischen Element in einer Bewegungsrichtung bewegliches Teil.

Piezoelektrische Elementen aus ferroelektrischem Flüssigkristallmaterial sind bekannt. Dabei kann es sich u. a. um Polymere ohne elastomere Eigenschaft (nachfolgend entsprechend dem üblichen Sprachgebrauch Polymere genannt) handeln (Liquid Crystals, 1991, Volume 9, Nr. 4, Seiten 519 bis 526) oder auch um Elastomere (Polymers for Advanced Technologys, Volume 3, Seiten 249 bis 255, Makromol. Chem., Rapid Commun. 11, Seiten 593 bis 598; Makromol. Chem., Rapid Communication ...). Für elektromechanische und/oder mechanoelektrische Umsetzer können rein polymere ferroelektrische Flüssigkristalle (FLCP) mit brauchbarem Erfolg eingesetzt werden. In vielen Fällen ist jedoch der Einsatz elastomerer ferroelektrischer Flüssigkristalle (FLCE) vorteilhafter, da diese bei einem beträchtlichen inversen piezoelektrischen Effekt im Bereich von beispielsweise 1,2 nm/Volt eine hohe Formstabilität aufweisen mit "Einfrieren" der gewünschten Orientierung der Flüssigkristalle durch die Vernetzung.

In der US-4,875,378 wird ein Drucksensor beschrieben, der aus zwei eine Elektrodenanordnung tragenden Trägerelementen und einer zwischen diesen angeordneten ferroelektrischen Flüssigkristall-Schicht besteht, wobei die Elektrodenanordnung mit einer geeigneten Spannungsmeßeinrichtung gekoppelt ist, mit welcher eine von einer Deformation der Flüssigkristall-Schicht abhängige Spannung gemessen wird.

Aus der DE 39 28 952 A1 ist ein elektromechanischer und/oder mechanoelektrischer Umsetzer bekannt, umfassend ein piezoelektrisches Element mit einem Träger, einer Elektroden-Anordnung und einer auf die Oberseite des Trägers aufgebrachten Schicht aus ferroelektrischem Flüssigkristallmaterial sowie ein über der Oberseite angeordnetes, relativ zum piezoelektrischen Element bewegliches Teil.

In der DE 39 28 952 A1 werden elektromechanische Umsetzer mit piezoelektrischem Element aus Polymermaterialien als nachteilig beschrieben, da das Polymermaterial in Filmform mechanisch gedehnt wird, so daß es schwierig ist, eine gute Genauigkeit der Dimensionen zu erreichen und die piezoelektrische Vorrichtung entsprechend dünn auszubilden. In dieser Druckschrift wird vorgeschlagen, einen ferroelektrischen Flüssigkristall einzusetzen, der in eine kreisringförmige Rinne eingesetzt (injiziert) wird, an deren Boden eine Elektrodenstruktur angeordnet ist zur Erzeugung einer akustischen Wanderwelle. In die Rinne greift von oben her ein Rotor mit ebener unterer Kreisringfläche ein. Es wird in dieser Druckschrift angegeben, daß die Welle des Rotors in Drehbewegung versetzt. Da zwar die Orte der Führung zwischen dem ferroelektrischen Flüssigkristall und dem Rotor mit den Wanderwellen "mitwandern", jedoch

die einzelnen Berührungspunkte des ferroelektrischen Flüssigkristalls bezüglich dieser "Wanderbewegung" keine Bewegungskomponente in Ausbreitungsrichtung der Wanderwelle haben, lassen sich mit dieser Anordnung, wenn überhaupt, allenfalls geringe Drehmomente des Rotors erzeugen; Haltemomente lassen sich überhaupt nicht erzeugen. Der Einsatz als mechanoelektrischer Umsetzer ist praktisch ausgeschlossen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen elektromechanischen und/oder mechanoelektrischen Umsetzer der eingangs genannten Art mit verbessertem Wirkungsgrad bereitzustellen.

Zur Lösung dieser Aufgabe wird bei einem gattungsgemäßen Umsetzer vorgeschlagen, daß das bewegliche Teil an seiner der Schicht zugewandten Unterseite mit einer makroskopischen Mitnahmekontur ausgebildet ist, zum mittelbaren oder unmittelbaren Eingriff in eine korrespondierende Mitnahmekontur an der Oberseite der Schicht, wobei im Falle eines elektromechanischen Umsetzers die korrespondierende Mitnahmekontur durch entsprechende Spannungsbeaufschlagung der Elektroden erzeugbar und wahlweise parallel zur Bewegungsrichtung verlagerbar ist zur entsprechenden Mitnahme des beweglichen Teils, und wobei im Falle eines mechanoelektrischen Umsetzers eine bei einer Bewegung des beweglichen Teils relativ zum piezoelektrischen Element erzwungene Verlagerung der durch die makroskopische Mitnahmekontur aufgeprägten korrespondierenden Mitnahmekontur entsprechende Abnahmespannungen an den Elektroden hervorruft.

Der erfindungsgemäße elektromechanische und/oder mechanoelektrische Umsetzer weist also an der dem piezoelektrischen Element zugewandten Unterseite des beweglichen Teils eine makroskopische Mitnahmekontur auf, die mittelbar oder unmittelbar in eine an der Oberseite des piezoelektrischen Elements ausgebildete korrespondierende Mitnahmekontur eingreift. Die korrespondierende Mitnahmekontur an der Oberseite des piezoelektrischen Elements resultiert aus der durch die phasenverschobene Spannungsbeaufschlagung der Elektrodenanordnung hervorgerufene Deformation desselben. Steuert man nun die Elektroden des piezoelektrischen Elements, beispielsweise wie im Stand der Technik beschrieben, derart an, daß die korrespondierende Mitnahmekontur des piezoelektrischen Elements entsprechend der Spannungsbeaufschlagung der Elektroden wandert, so wird durch den quasi "Formschluß" zwischen der korrespondierenden Mitnahmekontur des piezoelektrischen Elements und der makroskopischen Mitnahmekontur des beweglichen Teils letzteres relativ zum piezoelektrischen Element in Bewegung versetzt (elektrochemischer Umsetzer). Es können auch höhere Drehmomente erzeugt und sogar Haltemomente aufgebracht werden, da der aus einem Polymer oder einem wenigstens bereichsweise vernetzten Elastomer gebildete Flüssigkristall vergleichsweise hohe Formstabilität (erhöhter Scherwiderstand) bei ausreichender Verformbarkeit zur Erzielung eines großen piezoelektrischen Effekts aufweist. Wird das bewegliche Teil dagegen über äußere Kräfte relativ zum piezoelektrischen Element bewegt (mechanoelektrischer Umsetzer), so führt die damit erzwungene Verlagerung der korrespondierenden Mitnahmekontur der Schicht zu entsprechenden Abnahmespannungen an den Elektroden. Schließlich ist der Aufbau der erfindungsgemäßen Umsetzer einfach; eine weitgehende Miniaturisierung ist möglich, besonders bevorzugt ist zwischen der Oberseite der Schicht aus Flüssigkristall-Material und der Unterseite

des beweglichen Teils eine Flüssigkeits-Zwischenschicht vorgesehen.

Die Flüssigkeits-Zwischenschicht verhindert eine unmittelbar reibende Berührung von beweglichem Teil und Schicht aus Flüssigkristall-Material, die sich prinzipiell lediglich quer zur Bewegungsrichtung auf- und abbewegt.

Für die spezielle Form der makroskopischen Mitnahmekontur kommen unterschiedliche Ausgestaltungen in Frage, wie z. B. einzelne zur Schicht hin vorstehende Vorsprünge. Besonders bevorzugt ist die makroskopische Mitnahmekontur im wesentlichen sinusförmig ausgebildet. Diese Form vermeidet Ecken oder Kanten, so daß eine Beschädigung der Schicht aus Flüssigkristall-Material vermieden wird und gleichmäßiger Lauf gewährleistet ist. Auch ist die Ansteuerung der Elektroden zur Herstellung der korrespondierenden Mitnahmekontur besonders einfach; im Falle des mechanoelektrischen Umsetzers ist die Verarbeitbarkeit der dementsprechend angenähert sinusförmigen Abnahmespannungen ebenfalls einfach.

Um einen gleichmäßigen stoßfreien Betrieb zu erhalten, wird vorgeschlagen, daß die Periode der Mitnahmekontur größer ist als der Abstand aufeinanderfolgender Elektroden. Da mehrere Elektroden auf eine Periode der Mitnahmekontur verteilt sind, können diese auch eine wandernde Verdickungswelle erzeugen mit der gewünschten Sinusform ausreichend angenäherter Oberflächenform.

Um einen für eine Drehbewegung geeigneten Umsetzer zu erhalten, wird vorgeschlagen, daß das bewegliche Teil am Träger um eine Drehachse drehbewegbar gelagert ist und daß die Mitnahmekontur auf einem zu einer Drehachse des Umsetzers zentrischen Kreisring angeordnet ist.

Um einen für eine Linearbewegung geeigneten Umsetzer zu erhalten, wird vorgeschlagen, daß das bewegliche Teil am Träger linearbeweglich gelagert ist und daß die Mitnahmekontur auf einem zur linearen Bewegungsrichtung parallelen Streifen angeordnet ist.

In einer ersten Ausführungsform des Umsetzers ist vorgesehen, daß das piezoelektrische Element ausschließlich mit Elektroden auf der Oberseite des Trägers ausgebildet ist mit Erzeugung entsprechender elektrischer Felder zwischen benachbarten Elektroden. Eine derartige Anordnung wird bei ferroelektrischen Flüssigkristall-Materialien eingesetzt, bei denen der piezoelektrische Effekt quer zur Richtung des elektrischen Feldes besonders ausgeprägt ist. Auch erspart man sich das Aufbringen der Gegenelektroden (bevorzugt homöotrope Orientierung der Flüssigkristalle).

Alternativ hierzu wird vorgeschlagen, daß das piezoelektrische Element wenigstens eine Gegenelektrode auf der Oberseite der Schicht des ferroelektrischen Flüssigkristall-Materials aufweist zur Erzeugung entsprechender elektrischer Felder zwischen den Elektroden und der wenigstens einen Gegenelektrode. Diese Anordnung eignet sich in erster Linie für ferroelektrische Flüssigkristalle mit ausgeprägtem piezoelektrischem Effekt in Richtung des elektrischen Feldes (bevorzugt planare Orientierung der Flüssigkristalle).

Die Erfindung wird im folgenden an bevorzugten Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnungen erläutert. Hierbei zeigen:

Fig. 1 eine Schnittansicht eines erfindungsgemäßen piezoelektrischen Elements mit einem über dem piezoelektrischen Element angeordneten Maskenelement bei der Vernetzung durch UV-Bestrahlung;

Fig. 2 eine Schnittansicht eines erfindungsgemäßen elektromechanischen und/oder mechanoelektrischen Umsetzers mit einem piezoelektrischen Element und einem darüber angeordneten beweglichen Teil;

Fig. 3 eine weitere Ausführungsform eines elektromechanischen und/oder mechanoelektrischen Umsetzers mit einem piezoelektrischen Element und einem darüber angeordneten beweglichen Teil; und

Fig. 4 eine vereinfachte Draufsicht auf die Elektrodenstruktur der Ausführungsform gemäß Fig. 3.

Das Verfahren zur Herstellung eines piezoelektrischen Elements 10 wird im folgenden insbesondere anhand der Fig. 1 erläutert.

Mit der Ziffer 2 ist ein Träger bezeichnet, der entweder aus festem Plattenmaterial wie Glas, Plexiglas, einem Halbleiter oder dergleichen oder unter Umständen auch aus flexiblem Material wie Folienmaterial besteht. Auf die Oberseite 3 des Trägers 2 sind interdigitiert angeordnete Elektroden 4 (siehe auch Fig. 4) in einem Abstand  $a$  von kleiner als 0,1 mm, vorzugsweise  $\leq 0,05$  mm mit beispielsweise einer Dicke  $D$  von 10  $\mu$ m und einer Breite  $B$  von 5  $\mu$ m aufgebracht, beispielsweise durch Aufdampfen.

Nach dem Aufbringen der Elektroden 4 auf den Träger 2 wird eine Flüssigkristall-Orientierungsschicht 6 aus Polyimid-Material, am besten geriebenem Polyimid-Material, auf die Oberseite 3 des Trägers 2 aufgebracht. Die Orientierungsschicht 6 unterstützt eine später noch erläuterte Ausrichtung der Moleküle einer auf die Orientierungsschicht 6 aufgetragenen Schicht 8 aus vernetzbarem ferroelektrischem Flüssigkristall-Polymermaterial, da sich die an die Orientierungsschicht 6 angrenzenden Moleküle des Flüssigkristall-Materials der Schicht 8 entsprechend einer auf der Oberfläche der Orientierungsschicht 6 befindenden Oberflächenstruktur orientieren. Diese Orientierung der Randmoleküle des Flüssigkristall-Materials führt dazu, daß sich auch die von der Orientierungsschicht weiter entfernten Moleküle des Flüssigkristall-Materials dementsprechend ausrichten. Wenn der Orientierungseffekt der in einem späteren Schritt zur Kristall-Orientierung angelegten elektrischen Felder groß genug ist, kann auf das Aufbringen der Orientierungsschicht 6 auch verzichtet werden.

Im nächsten Schritt wird die erwähnte Schicht 8 aus vernetzbarem ferroelektrischem Flüssigkristall-Polymermaterial auf die Oberseite 5 der Flüssigkristall-Orientierungsschicht 6 aufgebracht. Im Falle, daß keine Flüssigkristall-Orientierungsschicht 6 vorgesehen ist, wird die Schicht 8 aus vernetzbarem ferroelektrischem Flüssigkristall-Material unmittelbar auf die mit den Elektroden 4 versehene Oberseite 3 des Trägers 2 aufgebracht. Die Verwendung eines vernetzbaren Flüssigkristall-Polymermaterials hat den großen Vorteil, daß die Ausrichtung der im Flüssigkristall-Polymermaterial vorliegenden Flüssigkristall-Moleküle durch Vernetzung des Materials dauerhaft erhalten werden kann, wobei das so erhaltene Flüssigkristall-Elastomermaterial (vernetztes Flüssigkristall-Polymermaterial) zusätzlich eine große Elastizität aufweist.

Das vernetzbare ferroelektrische Flüssigkristall-Material der Schicht 8 wird vorzugsweise mit einer Viskosität kleiner als 1 Pa·s, am besten mit einer Viskosität von 0,1 Pa·s auf die Oberseite 5 der Flüssigkristall-Orientierungsschicht 6, oder bei Nichtverwendung dieser, auf die Oberseite 3 des Trägers 2 aufgebracht, wobei ein Abstand  $d$  zwischen der Schicht 8 mit dünnen oder ultradünnen Schichtdicken  $d$  von kleiner als 0,1 mm oder kleiner als

0,0001 mm möglich ist. Damit eignet sich das Flüssigkristall-Material zum Einbringen in eine Mikrostruktur, wobei der Träger 2, die Orientierungsschicht 6 und die Elektroden 4 entsprechend kleine Größenordnungen aufweisen. Es ist jedoch auch ohne weiteres möglich, das Flüssigkristall-Material über  $\text{cm}^2$ -große Flächen auszurichten und zu vernetzen, wobei ebenfalls entsprechend dünne oder ultradünne Schichtdicken erzielbar sind.

Im nächsten Schritt werden auf der Oberseite 12 der Schicht 8 aus vernetzbarem ferroelektrischem Flüssigkristall-Material interdigitiert angeordnete Gegenelektroden 14 aufgebracht, die den auf der Oberseite 3 des Trägers 2 aufgetragenen Elektroden 4 gegenüberliegen. Über die gegenüberliegend angeordneten Elektroden 4, 14 können elektrische Felder 16 erzeugt werden (Fig. 2), anhand derer die Moleküle des vernetzbaren ferroelektrischen Flüssigkristall-Materials der Schicht 8 orientiert werden (planare Orientierung 52 der Flüssigkristalle). Die Elektroden 4, 14 können hierzu über eine nicht näher erläuterte Elektronik einzeln angesteuert werden, wobei für die Anfangs-Orientierung der Moleküle der Schicht 8 aus vernetzbarem, ferroelektrischem Flüssigkristall-Material zum anschließenden Einfrieren der Orientierung durch Vernetzung kurzzeitig viel größer elektrische Felder angelegt werden können als beim späteren Betrieb des Elements 10. Anstelle der Vielzahl einzelner Gegenelektroden 14 kann auch eine einzelne, jedoch durchgehend ausgebildete Gegenelektrode 14 eingesetzt werden, wie in Fig. 2, rechte Hälfte, angedeutet.

Bei einer weiteren Herstellungsart werden keine Gegenelektroden 14 auf die Oberseite 12 der Schicht 8 aus vernetzbarem ferroelektrischem Flüssigkristall-Material aufgebracht. In diesem Fall werden zur Orientierung der Moleküle der Schicht 8 aus vernetzbarem ferroelektrischem Flüssigkristall-Material elektrische Felder 18 (Fig. 3) zwischen benachbarten Elektroden 4 erzeugt (homöotrope Orientierung 50 der Flüssigkristalle). Der Vorteil davon ist, daß zum einen ferroelektrische Flüssigkristall-Materialien verwendet werden können, die ihren größten piezoelektrischen Effekt bei parallel zur Flüssigkristall-Schicht verlaufenden Feldlinien erreichen, und daß zum anderen durch das Wegfallen eines Herstellungsschritts die Herstellungskosten niedriger ausfallen.

Im nächsten Schritt wird über der Schicht 8 aus vernetzbarem ferroelektrischem Flüssigkristall-Material und den Gegenelektroden 14 ein Maskelement 20 angeordnet. Für den Fall, daß keine Gegenelektroden 14 auf der Oberseite 12 der Schicht 8 vorgesehen werden, wird das Maskelement 20 über der Flüssigkristallschicht 8 angeordnet. Durch die Erzeugung der elektrischen Felder 16 werden die Moleküle der Schicht 8 aus vernetzbarem ferroelektrischem Flüssigkristall-Material orientiert und zwar bevorzugt planar (in der Anordnung gemäß Fig. 1 oder 2) oder homöotrop (in der Anordnung gemäß Fig. 3) da ein derart ausgerichtetes ferroelektrisches Flüssigkristall-Material besonders große inverse piezoelektrische Effekte mit Werten von bis zu  $1,2 \text{ nm/V}$  (Dickenänderung/Spannung) hat, wodurch im Hinblick auf die spätere Anwendung makroskopische Wegänderungen bei kleinen elektrischen Feldstärken von  $10^4 \text{ V/cm}$  (Spannung/Schichtdicke d) erreicht werden können.

Durch Bestrahlung mit UV-Licht 22 wird die Schicht 8 aus vernetzbarem ferroelektrischem Flüssigkristall-Material vernetzt. Die Anwendung des Maskelements 20 ermöglicht eine gezielte räumliche Strukturierung der Vernetzung. Hierzu weist das Maskelement

20 Öffnungen 24 auf, durch die UV-Licht 22 auf die Schicht 8 aus vernetzbarem ferroelektrischem Flüssigkristall-Material auftreffen kann und dort das Flüssigkristall-Material vernetzt. An den Stellen des Maskelements 20, an denen sich keine Öffnungen 24 befinden, weist das Maskelement 20 strahlungsabsorbierende Abschnitte 26 auf, die im wesentlichen das Auftreffen von UV-Licht auf die unter diesen Abschnitten 26 liegenden Bereiche der Schicht 8 verhindern. Das UV-Licht 22 trifft somit nur auf Teilbereiche 25 der Schicht 8 aus vernetzbarem ferroelektrischem Flüssigkristall-Material, welche durch die Lage der Öffnungen 24 festgelegt sind.

Die Teilbereiche 25 der Schicht 8 aus vernetzbarem ferroelektrischem Flüssigkristall-Material, die von der Strahlung 22 getroffen werden, führen eine Vernetzung. Da während der UV-Lichtbestrahlung die vergleichsweise großen elektrischen Felder zur Orientierung der Flüssigkristalle angelegt sind, wird in diesen Teilbereichen durch die Vernetzung die jeweilige Kristall-Orientierung "eingefroren". Die Bereiche der Schicht 8 aus vernetzbarem ferroelektrischem Flüssigkristall-Material, die durch die strahlungsabsorbierenden Bereiche 26 des Maskelements 20 abgedeckt sind, werden im wesentlichen nicht vernetzt. Die Öffnungen 24 sind vorzugsweise so angeordnet, daß die Strahlung im wesentlichen die Teilbereiche 25 der Schicht 8 erreicht, in deren Bereich Elektroden 4, 14 angeordnet sind, da im wesentlichen nur im Bereich zwischen den Elektroden elektrische Felder erzeugt werden und damit das Vorhandensein von orientiertem und vernetztem ferroelektrischem Flüssigkristall-Material in diesen Bereichen für eine spätere Anwendung ausreichend ist und die unvernnetzten und damit wesentlich nachgiebigeren Zwischenbereiche die gewünschten Formveränderungen der vernetzten piezoelektrischen Bereiche unabhängig voneinander nicht behindern.

Nach erfolgter Vernetzung der Schicht 8 aus vernetzbarem ferroelektrischem Flüssigkristall-Material wird das Maskelement 20 entfernt. Die nicht vernetzten Anteile des Flüssigkristall-Materials der Schicht 8 werden beispielsweise durch Wegspülen mit einem Lösungsmittel beseitigt.

Am dem beschriebenen Herstellungsverfahren resultiert eine piezoelektrische Vorrichtung 10 mit dem Träger 2, auf dessen Oberseite 3 die Elektroden 4 im Abstand a aufgebracht sind. Auf der mit den Elektroden 4 versehenen Trägeroberseite 3 ist wahlweise eine Orientierungsschicht 6 vorgesehen. Auf der Oberseite 5 der Orientierungsschicht 6 ist die Schicht 8 aus Flüssigkristall-Material angeordnet, welche nach dem beschriebenen Verfahren zumindest in Teilbereichen orientiert und vernetzt ist. Bei einer anderen Ausführungsform, für die keine Orientierungsschicht 6 vorgesehen ist (siehe Fig. 2 oder 3) ist die Schicht 8 aus orientiertem und vernetztem Flüssigkristall-Material auf die mit den Elektroden 4 versehene Oberseite 3 des Trägers 2 aufgebracht. Auf der Oberseite 12 der Schicht 8 sind Gegenelektroden 14 aufgebracht, wobei die Orientierung des vernetzbaren Flüssigkristall-Materials der Schicht 8 durch das Anlegen eines elektrischen Feldes 16 zumindest an Teilbereiche der Schicht 8 zwischen jeweils gegenüberliegenden Elektroden 4, 14, 14' erfolgt ist.

Bei einer weiteren Ausführungsform des piezoelektrischen Elements 10 sind auf der Oberseite 12 der Schicht 8 eine Gegenelektroden 14, 14' vorgesehen, wobei die Orientierung des vernetzbaren Flüssigkristall-Materials

der Schicht 8 durch das Anlegen eines elektrischen Feldes 18 (Fig. 3) zumindest an Teilbereiche der Schicht 8 zwischen jeweils benachbarten Elektroden 4 erfolgt ist.

Wie bereits erwähnt, können die Elektroden 4, 14, 14' durch eine nicht dargestellte Elektroden-Schaltung einzeln mit einer Spannung beaufschlagt werden, wobei es weiteres möglich ist, beispielsweise wandernde elektrische Felder 16, 18 zu erzeugen (Fig. 2 und 3). Durch das Anlegen von elektrischen Feldern erfährt die Schicht 8 aus vernetzten ferroelektrischen Flüssigkristall-Material Dickenänderungen  $\Delta d$  (Fig. 2) als Ergebnis des inversen piezoelektrischen Effekts, der eine unmittelbare Konsequenz der Ferroelektrizität des Flüssigkristall-Materials ist, wobei die jeweiligen Dickenänderungen  $\Delta d$  bei etwa 1% der Schichtdicke  $d$  des vernetzten Flüssigkristall-Polymermaterials — insbesondere Elastomermaterial — als liegen. Bei Anlegen wandernder elektrischer Felder 16, 18 entsteht so eine wandernde Verdickungswelle mit entsprechend wandernden, aus den Dickenänderungen  $\Delta d$  resultierenden Ausbuchtungen 30 (Fig. 2 und 3).

Dies kann zur Bewegung eines auf das piezoelektrische Element 10 aufgesetzten beweglichen Teils 28 eingesetzt werden, womit man den in Fig. 2 im Schnitt dargestellten elektromechanischen und/oder mechanoelektrischen Umsetzer 46 erhält.

Bei dem in Fig. 2 (linke Hälfte) dargestellten piezoelektrischen Element 10 handelt es sich um eine Ausführungsform mit auf der Oberseite 3 des Trägers 2 angeordneten Elektroden 4 und auf der Oberseite 12 der Schicht 8 gegenüberliegend zu den Elektroden 4 angeordneten Gegenelektroden 14, wobei die Schicht aus einem nach dem vorangegangenen beschriebenen Verfahren hergestelltem Flüssigkristall-Elastomermaterial oder aber auch einem orientierten Flüssigkristall-Polymermaterial bestehen kann. Außerdem ist bei dieser Ausführungsform keine Orientierungsschicht 6 vorgesehen.

Zur Erzeugung der genannten Verdickungswellen werden also über eine nicht gezeigte elektronische Steuerung elektrische Felder 16 zwischen den gegenüberliegenden Elektroden 4 und 14 erzeugt. Dabei wird die Feldstärke zwischen den einzelnen Elektrodenpaaren 4, 14 jeweils örtlich und zeitlich variiert. Durch entsprechende örtliche Variation der an die Elektroden 4, 14 angelegten Spannungen erhält man unterschiedlich große Ausbuchtungen 30 der Schicht 8 und damit eine beispielsweise sinusförmige Kontur 32, wobei auch die Erzeugung von anderen Konturen 32, z. B. angenähert zick-zack-förmige möglich, wenn auch weniger bevorzugt ist. Zusätzlich werden die elektrischen Feldstärken zwischen den einzelnen Elektrodenpaaren 4, 14 in einer Weise zeitlich variiert, daß die Ausbuchtungen 30 in einer festgelegten Richtung A wandern.

Die Periode  $b$  der Kontur 32 ist dabei größer als der mittlere Abstand  $a$  zwischen aufeinanderfolgenden Elektroden 4. Das über der Schicht 8 angeordnete bewegliche Teil 28 weist auf der der Schicht zugewandten Unterseite 38 eine der Kontur 32 entsprechende sinusförmige makroskopische Mitnahmekontur 36 auf, wobei die jeweiligen Wölbungen 40 der Mitnahmekontur 36 mit den entsprechenden Ausbuchtungen 42 der sinusförmigen Kontur 32 der Schicht 8 und die jeweiligen Ausbuchtungen 46 der Mitnahmekontur 36 mit den entsprechenden Wölbungen 44 der Kontur 32 der Schicht 8 korrespondieren.

Über die mit der Kontur 32 korrespondierende sinusförmige makroskopische Mitnahmekontur 36 steht das

bewegliche Teil 28 also im Eingriff mit der Schicht 8 aus ferroelektrischem Flüssigkristall-Material. Um einen Reibkontakt des beweglichen Teils 28 mit den auf der Oberseite 12 der Schicht 8 angeordneten Elektroden 14 und/oder der Schicht 8 zu vermeiden, ist zwischen dem beweglichen Teil 28 und der mit den Elektroden 14 versehenen Oberseite 3 der Schicht 8 eine Flüssigkeits-Zwischenschicht 34 angeordnet. Die Flüssigkeit, für die beispielsweise Glycerin, Siloxane oder dergleichen verwendet werden kann, dient als Transmissionsflüssigkeit, mittels der die Bewegungen der Schicht 8 auf das darüber angeordnete bewegliche Teil 28 übertragen werden. Über die in Fig. 2 nach rechts wandernden Wölbungen 44 der Schicht 8, die im Eingriff mit entsprechenden Ausbuchtungen 46 der Mitnahmekontur 36 des beweglichen Teils 28 stehen, wird das bewegliche Teil 28 relativ zum piezoelektrischen Element 10 nach rechts bewegt. Es versteht sich, daß durch eine entsprechende Verlagerung der Kontur 32 nach links auch eine Bewegung des Teils 28 relativ zum Element 10 nach links möglich ist. Zusätzlich kann durch das Erzeugen einer momentan ortsfesten (relativ zum Träger) Kontur 32 der Schicht 8 eine Bewegung des beweglichen Teils 28 relativ zum Element 10 verhindert werden, so daß man eine Haltekraft erhält.

Der Umsetzer 46 gemäß Fig. 2 erzeugt also eine Linearbewegung des beweglichen Teils 28 relativ zum Träger 2. Ordnet man das piezoelektrische Element 10 auf einer ebenen Kreisringfläche an in entsprechender Gegenüberstellung zum beweglichen Teil 28, so läßt sich eine in Umfangsrichtung wandernde Verdickungswelle (Kontur 32) erzeugen. Das bewegliche Teil wird dann zur Drehung um die gemeinsame zur Kreisringfläche zentrische sowie senkrechte Achse von Träger 2 und beweglichem Teil 28 mitgenommen. Alternativ hierzu ist es auch denkbar, das piezoelektrische Element 10 auf einer Zylinderringfläche des Trägers 2 anzuordnen in Gegenüberstellung zu einer entsprechenden Zylinderringfläche des beweglichen Teils 28, wobei dann der bewegliche Teil das andere Teil umgreift. Eine in Umfangsrichtung laufende Verdickungswelle (Kontur 32) erzwingt dann eine entsprechende Mitnahme des jeweils anderen Teils.

Damit kann ein derartiger elektromagnetischer Umsetzer in jeglicher Art von Aktuatoren, beispielsweise in Ventilen, Ul-Pumpen (präzise Dosierungsvorrichtungen von kleinsten Flüssigkeitsmengen), Stellelementen in Mikromaschinen oder Robotern und dergleichen eingesetzt werden, wobei ein Einsatz sowohl als Linear- als auch als rotatorischer Motor möglich ist.

Der Umsetzer 46 kann auch als mechanoelektrischer Umsetzer verwendet werden. In diesem Fall erzeugt eine über eine äußere Kraft erzwungene Bewegung des beweglichen Teils 28 relativ zum Träger 2 über die mit der Kontur 32 der Schicht 8 im Eingriff stehende Mitnahmekontur 36 eine Verlagerung der Kontur 32 der Schicht 8. Aus dieser Verlagerung der Kontur 32 resultieren Spannungen an den Elektroden 4, 14, die über eine hier nicht dargestellte elektronische Meßeinrichtung gemessen werden können.

Damit kann ein derartiger mechanoelektrischer Umsetzer als Sensor, beispielsweise als Piezosensor mit Ortsauflösung, oder als Generator angewendet werden.

Fig. 3 zeigt eine weitere Ausgestaltung eines erfindungsgemäßen mechanoelektrischen und/oder elektro-mechanischen Umsetzers 48. Das piezoelektrische Element 10 ist in diesem Fall ohne Gegenelektroden 14 ausgebildet. Über der Schicht 8 aus nach dem beschrie-

benen Verfahren orientierten und vernetzten oder aber auch orientierten unvernetztem ferroelektrischem Flüssigkristall-Material ist die bereits erwähnte Flüssigkeits-Zwischenschicht 34 und darüber das bewegliche Teil 28 angeordnet. In diesem Fall verlaufen die elektrischen Felder 18 jeweils zwischen den benachbarten Elektroden 4. Durch eine periodische örtliche Variation der Spannungen (Feldlinien 18) können in der Schicht 8 aus ferroelektrischem Flüssigkristall-Material aufgrund des piezoelektrischen Effekts Ausbuchtungen 42 sowie Wölbungen 44 und damit die in Fig. 3 gezeigte sinusförmige Kontur 32 erzeugt werden. Durch zeitliche Variation der Spannungen kann die Kontur 32 wahlweise nach rechts oder links verlagert werden.

Der Abstand  $b$  zwischen zwei Wölbungen 44 und damit die Periode der sinusförmigen Kontur 32 ist wiederum größer als der lichte Abstand  $a$  zweier benachbarter Elektroden 4. Das bewegliche Teil 28 weist ebenfalls eine mit der Kontur 32 korrespondierende sinusförmige Mitnahmekontur 36 auf. Das bewegliche Teil 28 wird dabei entsprechend mitgenommen.

Der Umsetzer 48 kann eine dem Umsetzer 46 entsprechende Gestalt haben und somit als Linear- oder rotatorischer Motor, als Sensor oder Generator jeweils entsprechend dem Umsetzer 46 angewendet werden.

In Fig. 4 ist die interdigitierte Anordnung sowie die Ansteuerung der Elektroden 4 des Umsetzers 48 aus Fig. 3 vereinfacht dargestellt. In der dargestellten Anordnung sind jeweils die Elektroden 4a, 4b, 4c, 4d über entsprechende Leiterbahnen La, Lb, Lc, Ld elektrisch miteinander verbunden. Die Leiterbahnen La, Lb, Lc, Ld sind an einer nicht dargestellten elektronischen Steuerung angeschlossen. Um die elektrischen Felder 18 zu erzeugen, werden an die Elektroden 4a, 4b, 4c, 4d mittels der elektronischen Steuerung über die Leiterbahnen La, Lb, Lc, Ld jeweils Wechselspannungen angelegt, wobei die Phasen  $\Phi_a$ ,  $\Phi_b$ ,  $\Phi_c$ ,  $\Phi_d$  der an die Elektroden 4a, 4b, 4c, 4d angelegten Wechselspannungen derart verschoben sind, daß die zwischen den benachbarten Elektroden 4 erzeugten elektrischen Felder 18 in Fig. 3 gezeigte unterschiedliche Feldstärken aufweisen. Da jeweils Elektroden 4a, 4b, 4c, 4d zusammengefaßt sind, ergibt sich ein periodischer Verlauf der elektrischen Felder 18, wobei die angelegten Wechselspannungen eine zeitliche Variation der elektrischen Felder bewirken, während die örtliche Variation der elektrischen Felder durch die Verschiebung der Phasen der Wechselspannungen erhalten wird. Der Anschluß der Leiterbahnen La, Lb, Lc, Ld an die entsprechenden Elektroden 4a, 4b, 4c, 4d erfolgt zweckmäßigerweise nach zwei Seiten (in Fig. 4 nach oben und nach unten), um eine Anhäufung von Leiterbahnen zu vermeiden. Es sollte klar sein, daß neben der in Fig. 4 dargestellten Ansteuerung der Elektroden 4a, 4b, 4c, 4d die Elektroden auf beliebige Weise angesteuert werden können, wobei es ohne weiteres möglich ist, jede Elektrode auch einzeln anzusteuern.

#### Patentansprüche

1. Elektromechanischer und/oder mechanoelektrischer Umsetzer (46, 48), umfassend
  - ein piezoelektrisches Element (10) mit einem Träger (2), auf der Oberseite (3) des Trägers (2) aufgebrachten Elektroden (4) und einer auf die mit den Elektroden (4) versehene Oberseite (3) des Trägers (2) aufgebrachten Schicht (8) aus ferroelektrischem Flüssigkristall-Material, welches von einem orientierten

Polymer oder einem zumindest in Teilbereichen (25) orientierten und vernetzten Elastomer gebildet ist, sowie

— ein über der Oberseite (12) der Schicht (8) aus Flüssigkristall-Material des piezoelektrischen Elements (10) angeordnetes, relativ zum piezoelektrischen Element in einer Bewegungsrichtung bewegliches Teil (28),

dadurch gekennzeichnet,

daß das bewegliche Teil (28) an seiner, der Schicht (8) zugewandten Unterseite (38) mit einer makroskopischen Mitnahmekontur (36) ausgebildet ist zum mittelbaren oder unmittelbaren Eingriff in eine korrespondierende Mitnahmekontur (52) an der Oberseite (12) der Schicht (8), wobei im Falle eines elektromechanischen Umsetzers die korrespondierende Mitnahmekontur (32) durch entsprechende Spannungsbeaufschlagung der Elektroden (4, 14, 14') erzeugbar und wahlweise parallel zur Bewegungsrichtung verlagerbar ist zur entsprechenden Mitnahme des beweglichen Teils (28) und, wobei im Falle eines mechanoelektrischen Umsetzers eine bei einer Bewegung des beweglichen Teils (28) relativ zum piezoelektrischen Element (10) erzwungene Verlagerung der durch die makroskopische Mitnahmekontur (36) aufgeprägten korrespondierenden Mitnahmekontur (32) entsprechende Abnahmespannungen an den Elektroden (4, 14, 14') hervorruft.

2. Umsetzer (46, 48) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zwischen der Oberseite (12) der Schicht (8) aus Flüssigkristall-Material und der Unterseite (38) des beweglichen Teils (28) eine Flüssigkeits-Zwischenschicht (34) vorgesehen ist.

3. Umsetzer (46, 48) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die makroskopische Mitnahmekontur (36) im wesentlichen sinusförmig ist.

4. Umsetzer (46, 48) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Periode ( $b$ ) der Mitnahmekontur (36) größer ist als der Abstand ( $a$ ) aufeinanderfolgender Elektroden (4).

5. Umsetzer (46, 48) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das bewegliche Teil (28) am Träger (2) um eine Drehachse drehbewegbar gelagert ist und daß die Mitnahmekontur (56) auf einem zu einer Drehachse des Umsetzers (46, 48) zentrischen Kreisring angeordnet ist.

6. Umsetzer (46, 48) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß das bewegliche Teil (28) am Träger (2) linearbeweglich gelagert ist und daß die Mitnahmekontur (36) auf einem zur linearen Bewegungsrichtung parallelen Streifen angeordnet ist.

7. Umsetzer (48) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das piezoelektrische Element (10) ausschließlich mit Elektroden (4) auf der Oberseite (3) des Trägers (2) ausgebildet ist mit Erzeugung entsprechender elektrischer Felder (18) zwischen benachbarten Elektroden (14).

8. Umsetzer (46) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das piezoelektrische Element (10) Gegenelektroden (14, 14') auf der Oberseite (12) der Schicht (8) des ferroelektrischen Flüssigkristall-Materials aufweist zur Erzeugung

entsprechender elektrischer Felder (16) zwischen einander gegenüberliegenden Elektroden (4) und Gegenelektroden (14, 14').

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

100 100 100 100  
100 100 100 100  
100 100 100 100

- Leerseite -

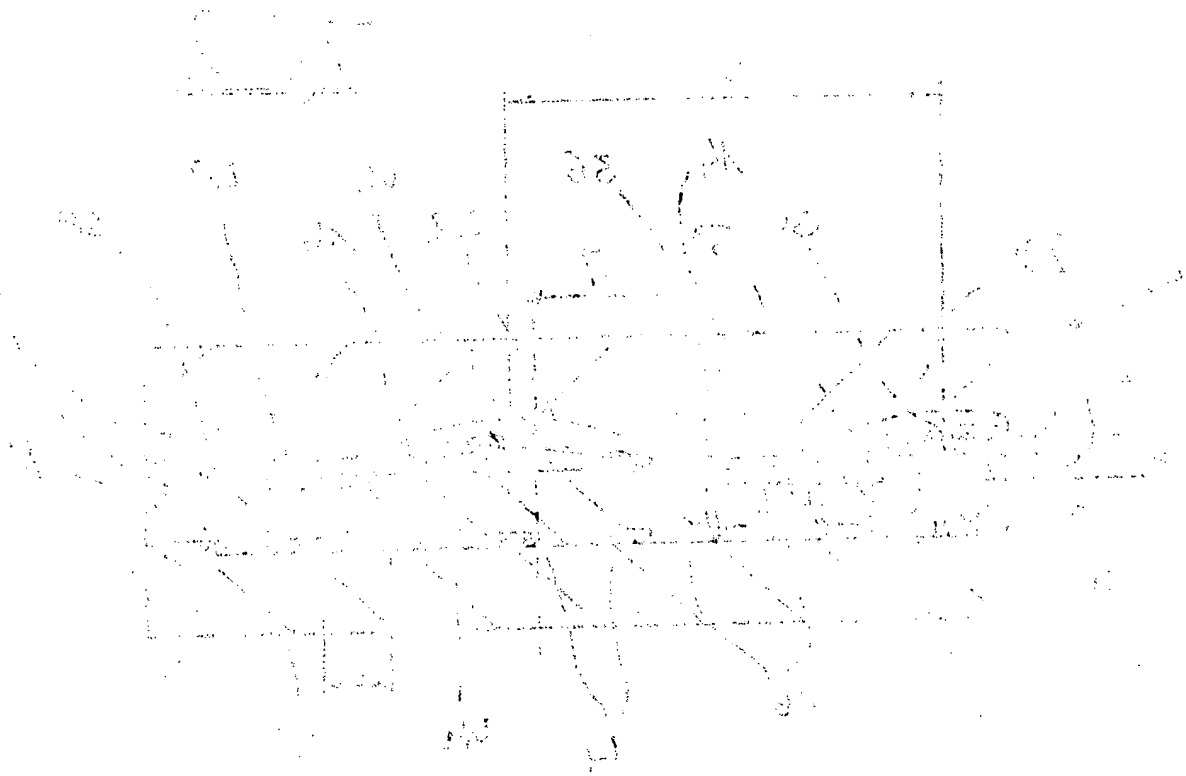




Fig. 1

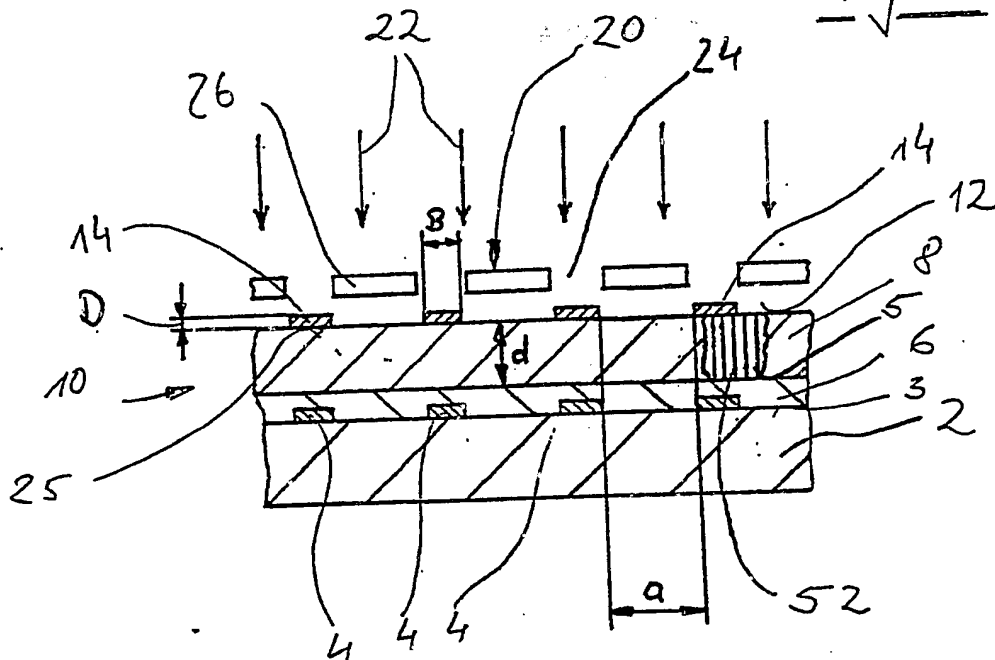


Fig. 2

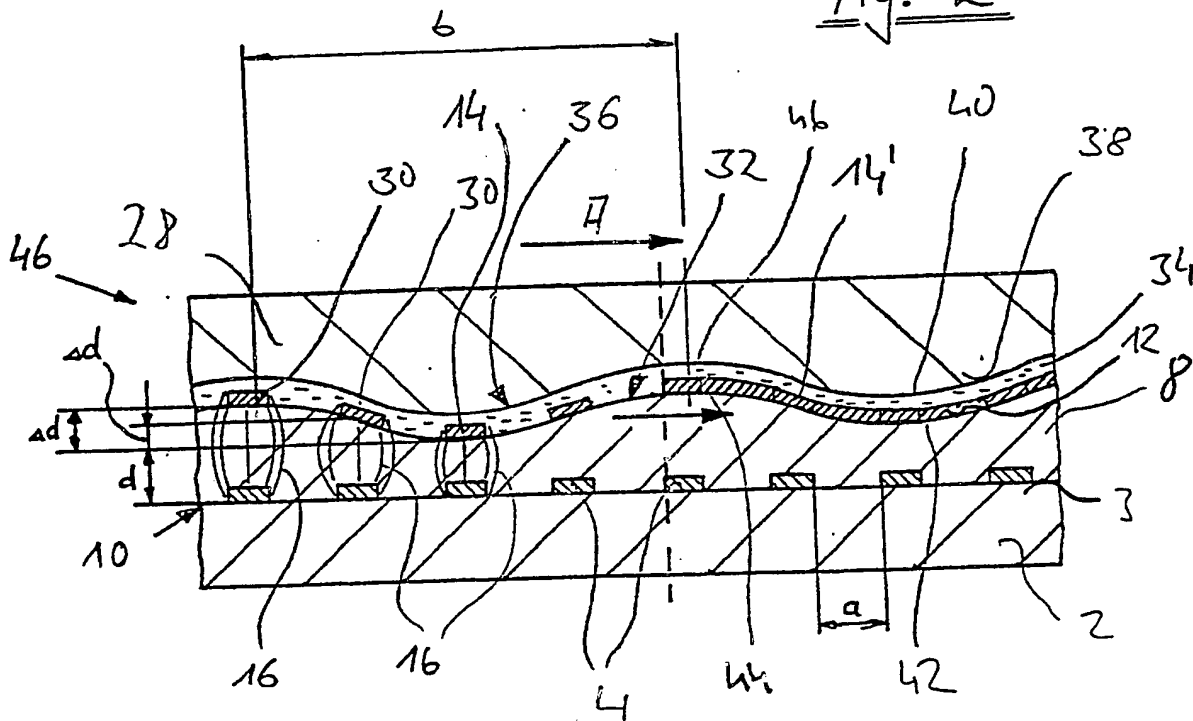


Fig. 3

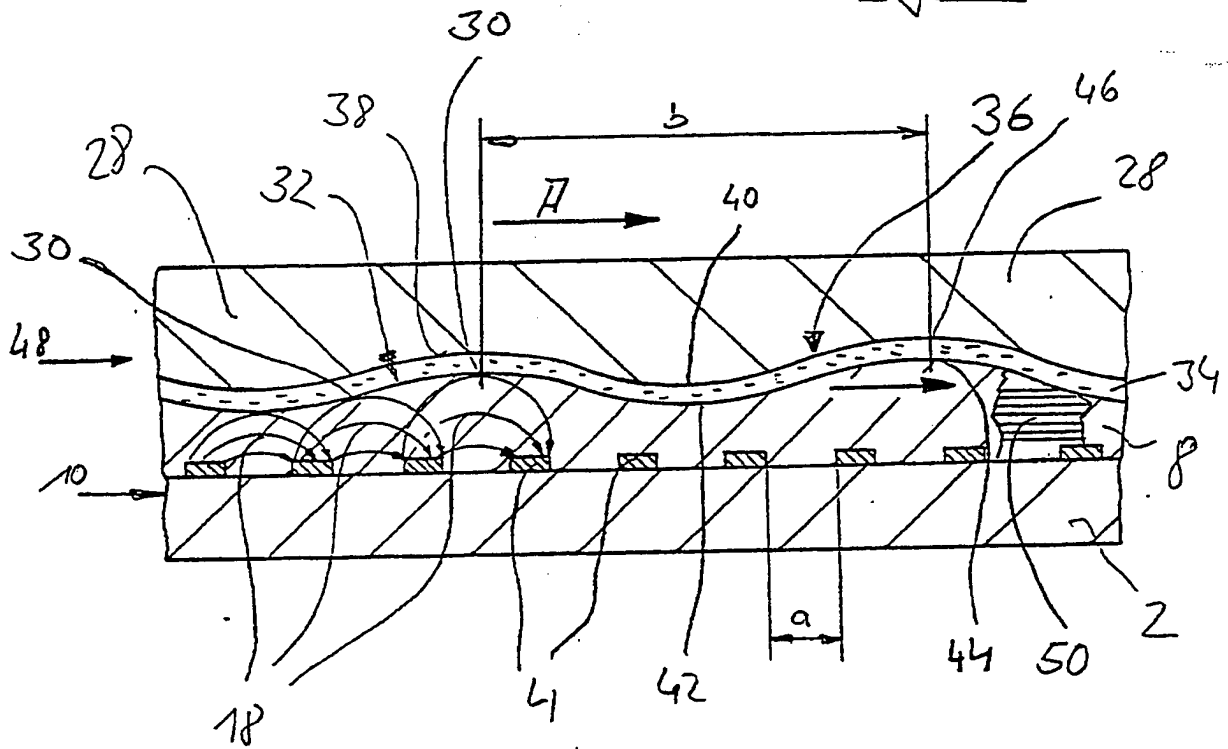


Fig. 4

